

**EVALUASI KARAKTERISTIK KEKUATAN MATERIAL TIMBUNAN BATUAN SEDIMEN  
FORMASI WARUKIN, KALIMANTAN SELATAN.  
TEMU PROFESI TAHUNAN (TPT) XXIX PERHAPI 2020**

**<sup>1)</sup>Firda Tubagus Ismail\*, <sup>1)</sup>Barno Joyo Pasubondo, <sup>2)</sup>Hasan Asari dan <sup>3)</sup>Supandi**

*<sup>1)</sup>Geotechnical Engineer, PT. Borneo Indobara*

*<sup>2)</sup>General Manager Mine Development & Contract, PT. Borneo Indobara*

*<sup>3)</sup>General Manager Health, Safety and Environment, PT. Borneo Indobara*

*\*E-mail: [firda.tubagus@sinarmasmining.com](mailto:firda.tubagus@sinarmasmining.com)*

*[Tubagus.fti@gmail.com](mailto:Tubagus.fti@gmail.com)*

**ABSTRAK**

Pertimbangan dalam penentuan area rencana timbunan batuan penutup merupakan tantangan penting untuk memastikan bahwa sumberdaya dan cadangan dapat dimanfaatkan secara maksimal. Permasalahan yang sering dijumpai pada kegiatan pertambangan batubara yang didominasi oleh batuan sedimen dengan kekuatan lunak, dasar timbunan lunak dan kemiringan batuan (*dip*) yang landai ( $<10^\circ$ ) adalah kondisi dasar timbunan berupa endapan rawa/sungai purba, keterbatasan kapasitas dan area timbunan, keterbatasan jarak alat angkut dan kesulitan pengendalian aliran air permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui metode evaluasi kekuatan timbunan yang sesuai dan optimal untuk diterapkan di lokasi penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode empiris dengan melakukan evaluasi dan membandingkan hasil pengujian laboratorium Uji *Direct shear*, Uji *Triaxial Unconsolidated Undrained* (UU) dan *Standard Penetration Test* (SPT), selanjutnya dihubungkan dengan data historical longsoran yang terjadi di lokasi penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata penyebaran material timbunan setiap kedalaman tersusun atas material lempung 45.5%, Lanau 41.0% dan pasir 13.5%. Karakter fisik material timbunan memiliki nilai Void Ratio mencapai 0.8 dan Water Content hingga 35%, hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat banyak pori yang dapat terisi oleh air atau udara yang dapat mempengaruhi perubahan nilai kekuatan material timbunan. Pengujian SPT menunjukkan bahwa terdapat 3 pola nilai kekuatan material timbunan yang meningkat seiring kedalaman. Zona 1 (*non consolidation*) berada di kedalaman 1-12 meter, Zona 2 (*normally consolidation*) pada kedalaman  $>12$  meter sesuai dengan acuan batas tinggi timbunan kritis ( $H_{cr}$ ) 12 meter dan Zona 3 (*fully consolidation*) pada kedalaman  $>24$  meter dengan waktu konsolidasi  $>20$  bulan. Hasil uji nilai kohesi dan sudut geser dalam hasil pengujian Uji Triaxial UU pada material timbunan memiliki nilai yang sangat tinggi dibandingkan dengan hasil Uji Direct Shear dan Perhitungan Kuat Geser dari Uji SPT. Hasil uji laboratorium pada material timbunan perlu dilakukan adjustment sebelum diaplikasikan di lapangan. Adjustment tersebut dilakukan dengan menambahkan nilai parameter tekanan pori ( $R_u$ ) sebesar 0.75 (Data Uji Direct Shear) dan 0.8 (Data Uji Triaxial) agar data tersebut dapat diaplikasikan di lapangan. Nilai tersebut didapatkan dari hasil studi Analisa balik longsor di area disposal daerah penelitian dengan dimensi pergerakan yang besar dan optimal. Penentuan evaluasi metoda perhitungan ini sangat bermanfaat untuk melakukan optimalisasi kapasitas timbunan dengan kondisi dasar penimbunan batuan sedimen lunak.

Kata kunci: Material Timbunan, Batuan Lunak, Optimalisasi Timbunan, Mekanika Batuan

**ABSTRACT**

*The consideration in determining the planned overburden area is an important challenge to ensure that resources and reserves can be fully utilized. Problems that are often encountered in coal mining activities which are dominated by sedimentary rocks with soft strength, soft embankment bases and gentle slopes ( $<10^\circ$ ) are the basic conditions of embankments in the form of ancient swamp / river sediment, limited capacity and embankment area, limitations distance of conveyance*

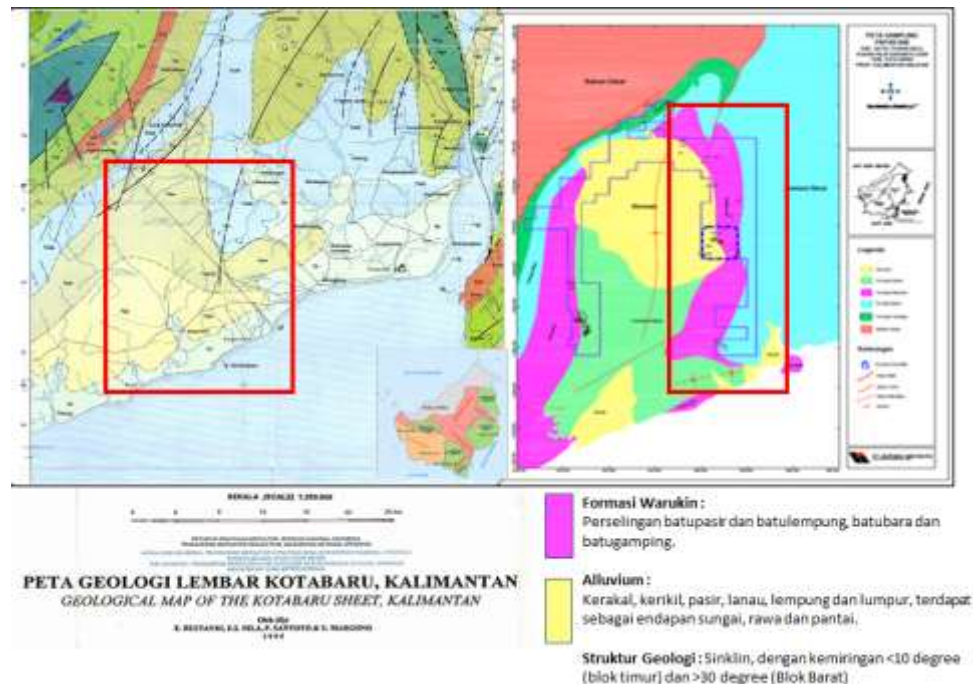
*and difficulty in controlling surface water flow. This study aims to determine the appropriate and optimal method of embankment strength evaluation to be applied in the research location. The method used in this research was the empirical method by evaluating and comparing the laboratory test results of the Direct Shear Test, the Triaxial Unconsolidated Undrained (UU) Test and the Standard Penetration Test (SPT), then linked to historical landslide data that occurred at the research location. The results showed that the average spread of the material in each depth was composed of 45.5% clay material, 41.0% silt and 13.5% sand. The physical character of the embankment material has a Void Ratio value of 0.8 and a Water Content of up to 35%, this shows that there are many pores that can be filled with water or air which can affect changes in the strength value of the pile material. SPT testing shows that there are 3 patterns of the strength value of the embankment material which increases with depth. Zone 1 (non consolidation) is at a depth of 1-12 meters, Zone 2 (normally consolidation) is at >12 meters in accordance with the reference for the critical embankment height limit ( $H_{cr}$ ) of 12 meters and Zone 3 (fully consolidation) at a depth of >24 meters with time consolidation >20 months. The test results of the cohesion value and shear angle in the Triaxial UU Test from embankment material have a very high value compared to the results of the Direct Shear Test and the Calculation of Shear Strength from the SPT Test. The laboratory test results on the embankment material need to be adjusted before being applied in the field. The adjustment was done by adding the pore pressure parameter values ( $R_u$ ) of 0.75 (Direct Shear Test Data) and 0.8 (Triaxial Test Data) so that the data can be applied in the field. This value was obtained from the results of the backlash analysis study in the disposal area of the research area with large and optimal movement dimensions. Determination of the evaluation of this calculation method is very useful for optimizing the capacity of the pile with the basic conditions of soft sedimentary rock dumps..*

*Keywords: Waste Dump Material, Soft Rock, Optimization of Embankment, Rock Mechanics*

## **A. PENDAHULUAN**

PT. Borneo Indobara merupakan perusahaan pertambangan batubara (bagian dari Group Sinarmas Mining) dengan metode penambangan terbuka (*open pit*) yang berlokasi di Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan. Perusahaan telah dipercaya pemerintah untuk mengelola pemanfaatan sumberdaya alam melalui pemberian izin PKP2B mulai tahun 2006 sampai dengan tahun 2036. Perusahaan memiliki tanggungjawab untuk mengelola lahan 24,100 Ha dengan nilai sumberdaya 1.469 Juta ton dan memiliki total cadangan batubara sekitar 587 juta ton untuk dapat dimanfaatkan dengan optimal. Kegiatan usaha yang dijalankan Perusahaan meliputi segmen pertambangan dan perdagangan batubara. Perusahaan melakukan peningkatan volume produksi dalam 3 tahun terakhir yang signifikan yaitu sekitar 40% setiap tahun dari 14.4 juta pada tahun 2017 hingga 32 Juta ton pada tahun 2020. Hal tersebut menjadi tantangan utama khususnya tim Geoteknik untuk dapat menentukan area disposal yang aman dan optimal. Naik dan turunnya harga komoditas batubara menjadi tantangan yang tidak terpisahkan dari permasalahan perusahaan, sehingga faktor ekonomi seperti jarak alat angkut menjadi poin penting dalam penentuan keputusan area. Pertimbangan dalam penentuan area rencana timbunan batuan penutup merupakan tantangan penting untuk memastikan bahwa sumberdaya dan cadangan dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Kondisi geologi daerah penelitian berada pada Formasi Warukin dan Endapan Aluvium dengan struktur geologi berupa lipatan sinklin. Batuan penyusun yang tersebar dilokasi penelitian berupa perselingan batupasir kuarsa dan batulempung, bersisipan serpih, batubara dan batugamping. Endapan alluvium banyak ditemukan dilapisan paling atas dekat permukaan yang tersusun atas kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung dan terdapat sebagai endapan sungai dan rawa. Kekerasan batuan penutup termasuk dalam kategori batuan sangat lunak yaitu < 4 Mpa. Lapisan dasar disposal berupa material lumpur sampai dengan Material Tanah dengan kekerasan lunak 10 - 50 kPa.



Gambar 1. Peta Lokasi dan Peta Geologi daerah Penelitian (Modifikasi E. Rustandi, 1995 & Internal PT. BIB).

Permasalahan yang sering dijumpai pada kegiatan pertambangan batubara yang didominasi oleh batuan sedimen dengan kekuatan lunak dan kemiringan batubara landai ( $<10^{\circ}$ ) adalah kondisi dasar timbunan berupa endapan rawa/sungai, keterbatasan kapasitas dan area timbunan, keterbatasan jarak alat angkut dan kesulitan pengendalian aliran air permukaan. Selama proses pembentukan disposal, telah terjadi 3 longsor dengan dimensi yang besar dan menunjukkan pola pergerakan yang optimal. Kondisi timbunan yang mengalami longsor secara umum sulit untuk dilanjutkan dikarenakan keseluruhan material tersebut telah mengalami deformasi dan terdapat pengaruh lain yang memperburuk nilai kekuatan material timbunan. Secara operasional, kondisi kejadian longsor tersebut sangat mengganggu dan menghambat proses coal expose dan coal getting sehingga kestabilan produksi perusahaan menjadi terganggu. Oleh sebab itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui metode evaluasi data kekuatan timbunan yang sesuai dan optimal untuk diterapkan dilokasi penelitian.

## B. METODOLOGI PENELITIAN

Kegiatan penambangan yang dilakukan oleh PT. Borneo Indobara dibagi menjadi 2 blok, yaitu Blok Barat dan Blok Timur. Penelitian ini dilakukan pada kegiatan penambangan Blok Timur dengan karakteristik kemiringan batuan landai sebesar 3 - 10 derajat. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode empiris dengan melakukan evaluasi dan membandingkan hasil pengujian laboratorium Uji Direct shear, Uji Triaxial Unconsolidated Undrained (UU) dan Standard Penetration Test (SPT), selanjutnya dihubungkan dengan data historical longsoran yang terjadi di lokasi penelitian. Langkah-langkah dalam tahapan penelitian disusun secara sistematis diantaranya sebagai berikut :

### B.1. Penyelidikan Lapangan

Penyelidikan dilakukan secara langsung di lapangan mulai dari tahap deskripsi material batuan penutup (*overburden*) dan material timbunan, uji kekuatan material timbunan menggunakan uji

Standar Penetration Test (SPT), Uji Dynamic Compaction Test (DCP), pengambilan sampel geoteknik untuk pengujian laboratorium, serta pemetaan data-data informasi geoteknik yang berhubungan dengan kejadian ketidaksetabilan/longsor di area timbunan.

#### A. Metode Uji Standar Penetration Test

Salah satu cara investigasi kondisi geoteknik yang umum digunakan untuk mengetahui daya dukung suatu area. Cara ini dilakukan dengan mengetahui jumlah pukulan dari *hammer* pada konus setiap kedalaman konus mencapai 30 cm. Hasil data pengujian SPT lapangan perlu dilakukan koreksi agar dapat dilanjutkan dengan korelasi nilai kuat geser (*undrained shear strength*) berdasarkan grafik acuan Terzaghi & Peck, 1967 dan Sowers, 1979.

Koreksi nilai SPT lapangan dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$(N_1)_{60} = N_m \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_s \quad (1)$$

Pada persamaan di atas menunjukkan bahwa  $N_m$  adalah Nilai Pukulan Lapangan,  $C_N$  adalah Faktor Koreksi Kedalaman,  $C_E$  adalah Faktor Koreksi Rasio Energi *Hammer*,  $C_B$  adalah Faktor Koreksi Lubang Bor Uji (Borehole),  $C_R$  adalah Faktor Koreksi Panjang Pipa Bor (*Rod*), dan  $C_s$  adalah Faktor Koreksi untuk Sampel dengan atau tanpa *liners*. (Youd & Idriss, 1997)

Perhitungan Nilai Kuat Geser *Undrained* ( $C_u$ ) menggunakan metode SPT diperoleh dengan menggunakan grafik acuan Terzaghi & Peck, 1967 dan Sowers, 1979 yang disesuaikan dengan karakteristik materialnya.

#### 2. Uji Data Laboratorium

Kegiatan laboratorium dilakukan terhadap sampel tanah dan batuan yang berasal dari batuan penutup dan material yang sudah terdapat di area timbunan. Uji laboratorium ini bertujuan untuk mendapatkan nilai sifat fisik dan mekanik tanah dan batuan. Jenis pengujian sifat mekanik yang digunakan adalah Uji Triaxial dan Direct Shear (DS). Pengujian Triaxial yang dilakukan adalah Metode Unconsolidated Undrained (UU) sesuai dengan standard pengukuran SNI 4813:2015. Uji direct shear mengacu ke standard pengukuran SNI 2813:2008 dengan menghasilkan data nilai puncak (*peak*) dan nilai sisa (*residual*) dari kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ).

#### 3. Pemodelan dan Analisa Balik Kestabilan Desain Timbunan

Proses analisa kestabilan model desain timbunan dilakukan terhadap 2 area kondisi timbunan, yaitu area timbunan yang masih stabil dan yang tidak stabil. Perangkat lunak yang digunakan adalah Minescape 5.12 untuk mengolah data sekunder mengenai data topografi dan situasi kondisi aktual. Perangkat lunak geoteknik yang digunakan untuk menghitung nilai kestabilan lereng dalam pemodelan desain timbunan adalah Slide v6 -Rockscience (Limit Equilibrium). Analisa balik dilakukan terhadap actual kejadian longsor sehingga dapat diketahui deviasi nilai dan kesesuaian data yang optimal dan dapat diaplikasikan.

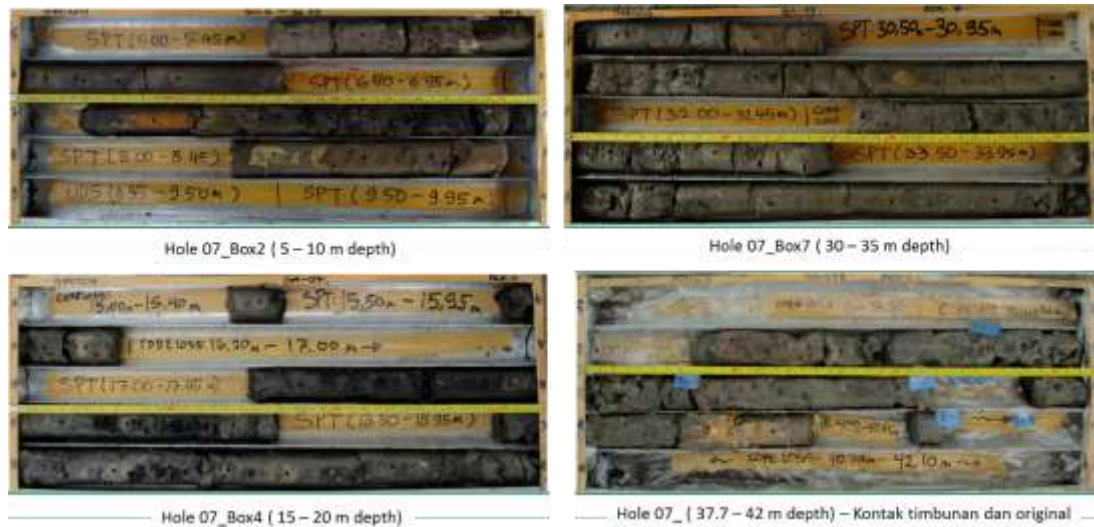
#### 4. Kesimpulan dan Rekomendasi Penentuan Kestabilan Area Timbunan

Pada tahapan ini dilakukan evaluasi terkait upaya-upaya atau koreksi yang harus dilakukan untuk memaksimalkan penggunaan data uji laboratorium.

## C. HASIL DAN PEMBAHASAN

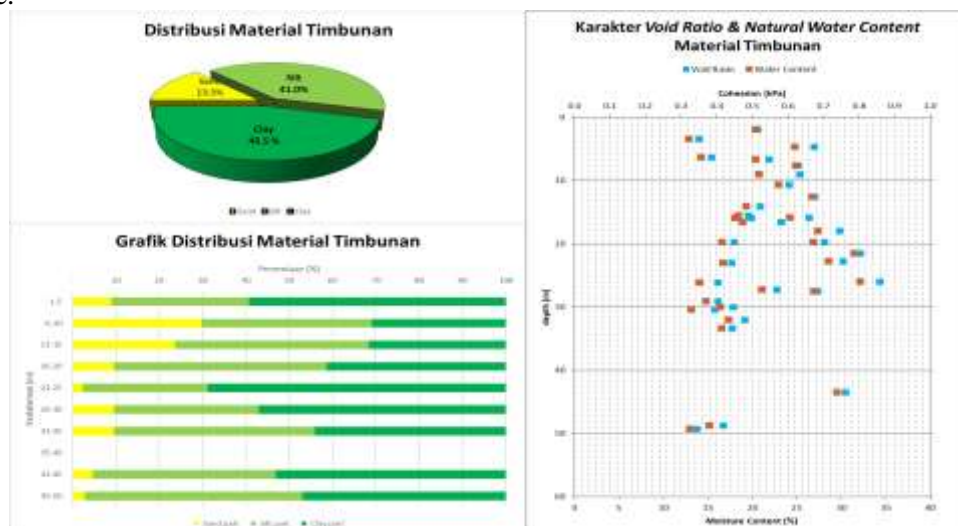
### C.1. Karakter Material Timbunan

Material timbunan berasal dari material lepas hasil penggalian dari sumber yang heterogen dengan sifat fisik dan mekanik yang berbeda, kemudian mengalami proses pemampatan baik secara alami maupun secara mekanis. Material timbunan secara alami akan mengalami proses pemampatan dikarenakan pembebanan dari material timbunan di atasnya, dan secara mekanis pemampatan material timbunan dapat terjadi akibat beban unit haluer maupun unit pemampat khusus (*compactor*). Pemampatan dapat terbentuk jika material timbunan yang terkena beban memiliki nilai pori yang tinggi serta terdapatnya saluran untuk mengalirkan udara dan air.



Gambar 2. Kondisi Material Timbunan dari Hasil Pengeboran Full Coring (Internal PT. BIB, 2017).

Distribusi massa batuan penyusun lereng timbunan berdasarkan kegiatan pengeboran geoteknik diketahui berupa campuran material batulempung, batupasir dan batulempung karbonan yang penyebarannya dilakukan secara acak (Gambar 2). Secara umum karakter material timbunan memiliki nilai void ratio 0.3 – 0.8 dan kandungan air 15 -35%. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses konsolidasi material timbunan masih dapat terjadi seiring peningkatan beban di atasnya. Tingginya nilai kandungan air dibandingkan dengan kandungan air natural batuan original dapat berdampak terhadap degradasi kekuatan material timbunan jika kandungan air tidak dapat direlease.





Gambar 3. Distribusi Penyebaran Material Timbunan daerah Penelitian

#### C.2. Karakter Pola Perubahan Nilai Kekuatan Material Timbunan terhadap Kedalaman

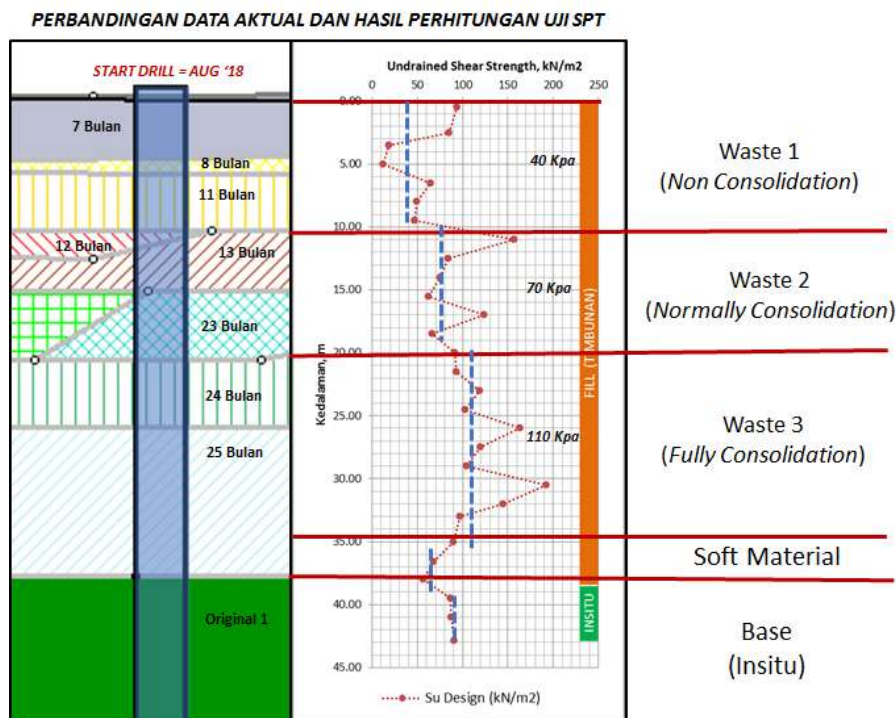
Pola perubahan kekuatan material timbunan terhadap kedalam dapat diketahui berdasarkan pengolahan data uji daya dukung tanah (SPT). Gambar 4 menunjukkan bahwa pola kekuatan dari SPT memiliki pola kenaikan kekuatan seiring kedalaman. Perubahan kekuatan secara signifikan berada pada elevasi kedalam yang telah melebihi nilai ketinggian kritisnya ( $H_{cr}$ ). Nilai Ketinggian Kritis merupakan syarat proses konsolidasi terjadi sehingga penentuan nilai HCR dapat dihitung berdasarkan teori perhitungan Terzaghi (1943) sebagai berikut :

$$H_{cr} = C_{u_{desain}} \times \frac{N_c}{\gamma_{timbunan}} \quad (2)$$

Pada persamaan di atas menunjukan bahwa  $H_{cr}$  adalah Ketinggian Kritis Timbunan,  $C_U$  adalah Kuat Geser Desain Undrained,  $N_c$  adalah Faktor Daya Dukung Tanah ( $\phi = 5.71$  Terzaghi, 1943), dan  $\gamma_{timbunan}$  adalah berat jenis material timbunan.

$$H_{cr} = 40 \text{ kPa} \times \frac{5.71}{18.9} = 12.08 \rightarrow 12 \text{ meter}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai ketinggian kritis area timbunan adalah 12 meter. Apabila terjadi penambahan ketinggian timbunan melebihi nilai kritisnya, maka akan terjadi penurunan yang besar dan cepat sehingga proses pemampatan akan mulai terjadi terhadap area dibawah timbunan.

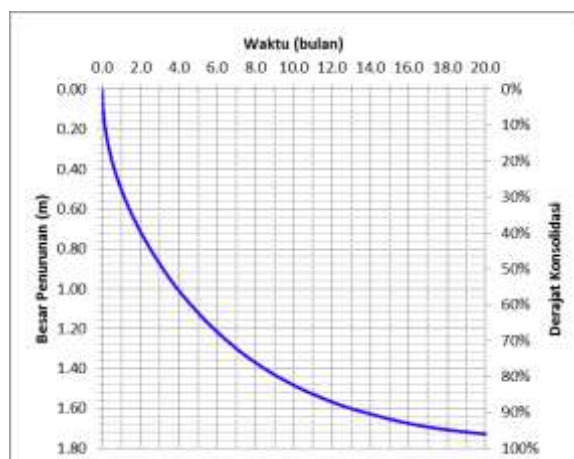


Gambar 4. Data Hasil Uji SPT dan Kuat Geser Material Timbunan

Terdapat 3 pola karakteristik kuat geser material timbunan berdasarkan hasil uji SPT dan perhitungan kuat gesernya. Pembagian zona tersebut diantaranya adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Pembagian Zona Kuat Geser Material Timbunan terhadap Kedalaman.

Nama Zona	Karakteristik	Kedalaman
Waste 1 ( <i>non consolidation</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Timbunan dekat dengan permukaan</li> <li>• Dominasi oleh material lepas hasil penimbunan</li> <li>• Pemampatan mekanis</li> <li>• Tidak mengalami konsolidasi yang signifikan <math>&lt; H_{cr}</math></li> </ul>	0 – 12 meter Dari permukaan
Waste 2 ( <i>normally consolidation</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Timbunan mengalami pembebanan dari timbunan bagian atasnya.</li> <li>• Pemampatan mekanis dan alami (melebihi tinggi kritis)</li> <li>• Timbunan diasumsikan mengalami penurunan dan mulai terkonsolidasi</li> </ul>	>12 meter Dari permukaan
Waste 3 ( <i>fully consolidation</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Timbunan mengalami pembebanan melebihi tinggi kritisnya</li> <li>• Waktu konsolidasi &gt; 20 bulan atau Derajat Konsolidasi &gt;95% (Gambar 6)</li> </ul>	>24 meter Dari permukaan

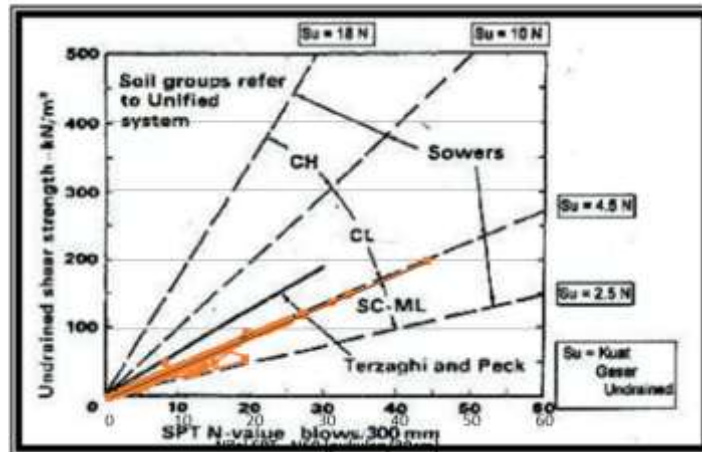


Gambar 5. Grafik hasil perhitungan Waktu dan Derajat Konsolidasi Material Timbunan daerah Penelitian menggunakan Teori Terzaghi, 1943.

Perhitungan nilai kuat geser undrained material timbunan dari uji SPT telah dilakukan koreksi N60 dan disesuaikan dengan kondisi aktual material. Berdasarkan data analisa balik longsor yang pernah terjadi di area penelitian, maka penentuan nilai kuat geser dapat dilakukan dengan pendekatan sebagai berikut :

Tabel 2. Perhitungan Kuat Geser dari Uji SPT yang sudah dikoreksi

Material Uji	Kuat Geser Undrained
Pasir	$S_u = 3 \times N_{60}$
Mix Pasir & Lempung	$S_u = 5 \times N_{60}$
Lempung	$S_u = 6.7 \times N_{60}$



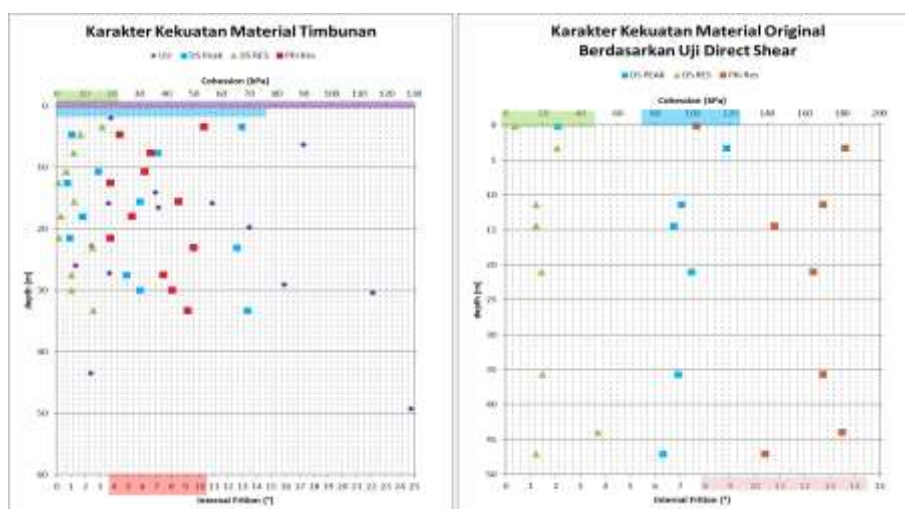
Gambar 6. Grafik Kuat Geser Material Timbunan dan Dasar Original daerah Penelitian.

### C. 3. Hasil Uji Laboratorium Material Timbunan.

Hasil Uji Triaxial UU terhadap material timbunan memiliki nilai yg relatif lebih tinggi dibanding dengan pengujian direct shear (Gambar 7). Hal tersebut dapat diakibatkan oleh banyak faktor diantaranya perbedaan bidang pecah, heterogenitas batuan, dan keterdapatn bidang bidan anomali yg terbentuk dari material timbunan. Nilai kuat geser yang didapatkan dari uji triaxial mulai dari 20 kPa sampai dengan 130 kPa untuk timbunan dibagian paling bawah. Sedangkan hasil uji direct shear puncak menghasilkan nilai kohesi < 70 kPa. Nilai kekuatan sisa (residu) material timbunan menunjukkan nilai yang signifikan kecil yaitu < 20 kPa. Oleh sebab itu, maka kegiatan penimbunan yang dilakukan dari sumber bekas area timbunan (*rehandle*) perlu dilakukan pendekatan khusus terkait penentuan nilai kekuatannya.

Nilai sudut geser dalam diyakini sebagai sudut akhir material ketika masing masing partikel sudah kehilangan daya ikat antar butirnya. Hasil kuat geser dalam yang dilakukan pada material timbunan menunjukkan nilai 4 – 10 derajat, nilai paling rendah tersebut sesuai dengan sudut *repose* material longsor di area penelitian.

Hasil uji direct shear lainnya dilakukan pada material original (batuan penutup) menunjukkan bahwa nilai kohesi residu material original berupa *free dump* atau timbunan tanpa mengalami konsolidasi mencapai < 45 kPa. Sedangkan nilai sudut geser dalam residu berada pada nilai 8 – 14 derajat.



Gambar 7. Distribusi Hasil Uji Mekanik Kekuatan Material Timbunan dan Material Original.

Hal-hal tersebut diatas menjadi dasar dalam pemodelan karakter perubahan kekuatan material timbunan.



#### C. 4. Kondisi Dasar Timbunan

Daya dukung base area timbunan dapat diketahui dengan pengujian dayandukung baik secara uji lapangan maupun laboratorium. Dari hasil pengujian SPT diketahui bahwa area base memiliki nilai kekuatan sangat lunak sampai dengan lunak yaitu 20 kPa s/d 70 kPa. Kedalam material lunak di area rawa mencapai 3-7 meter, sedangkan untuk area topografi punggungan memiliki ketebalan 2 meter.

Pengujian lain dilakukan dengan pengujian laboratorium yang menghasilkan nilai kekuatan peak cohesi 27.7 & phi 19.08 Dan residu cohesi 5.09 & phi 7.66. Kondisi dasar (*base*) yang digunakan untuk analisa material dengan properties uji laboratorium direct shear dan triaxial uu adalah kondisi tanah (*soil base*) dalam kondisi residu. Kondisi tersebut terjadi ketika tekanan air pori meningkat seiring dengan kegiatan penimbunan dan muka air jenuh pada lapisan soil.

#### C.5. Perhitungan Kestabilan Timbunan

Analisa dilakukan dengan menggunakan kesetimbangan batas. Perhitungan kestabilan lereng dilakukan dengan mengikuti kriteria keruntuhan Mohr Coulomb. Mekanisme longsoran lereng yang digunakan yaitu longsoran busur (Circular) dan longsoran bukan busur (non Circular). Muka air tanah yang dimodelkan pada disposal adalah sesuai dengan kejenuhan area base disposal. Nilai seismic load yang digunakan adalah 0.03g dan untuk backanalysis longsor tidak menggunakan pengaruh seismic load. Data material yang digunakan mengacu ke rangkuman data material timbunan dari berbagai pengujian (Tabel 4).

Tabel 3. Simulasi Kestabilan Lereng Timbunan Longsor dan Stabil.

Lokasi Simulasi	Faktor Keamanan Lereng (FK)							
	SPT (C)*	SPT (NC)**	DS Layer (C)*	DS Layer (NC)**	UU Layer (C)*	UU Layer (NC)**	Residual Ori (C)*	Residual Ori (NC)**
Failure OPD KA Selatan <sup>1)</sup>	1.132	1.013	1.777	1.138	1.609	1.151	1.206	0.966
Failure ACL Girimulya <sup>1)</sup>	1.034	0.723	1.619	0.981	2.040	1.390	1.244	0.764
Utara								
Ex-Failure GRMN Bagian Timur <sup>1)</sup>	0.997	0.740	1.509	1.111	1.668	1.224	1.179	0.787
OPD Girimulya Selatan <sup>1)</sup>	1.164	0.872	1.830	1.752	2.258	1.788	1.776	1.412
RL+80 <sup>2)</sup>								
WDH Selatan KB (Ex-Void) RL+55 <sup>2)</sup>	1.045	0.905	1.341	1.109	1.673	1.240	1.139	0.945

Keterangan :

\* C adalah Metode Longsor Busur (Circular)

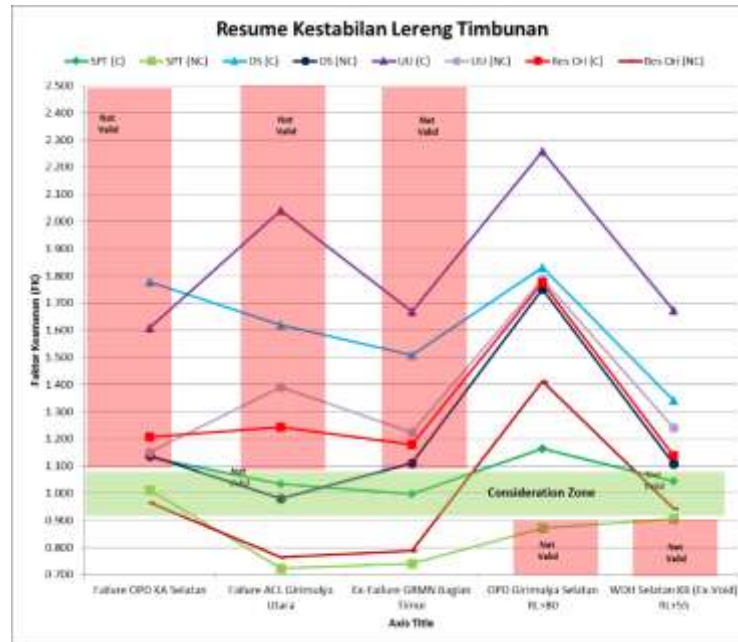
\*\* NC adalah Metode Longsor Bukan Busur (Non Circular)

<sup>1)</sup> aktual longsor, <sup>2)</sup> aktual stabil

Dari hasil simulasi terhadap kondisi lereng timbunan aktual diketahui bahwa perhitungan menggunakan data hasil uji SPT dengan metode longsor busur (circular) memiliki kesesuaian yang lebih mendekati aktual (Gambar 8). Data SPT dengan metode longsor non circular menunjukkan hasil FK yang lebih konservatif sehingga keseluruhan data SPT dapat diaplikasikan. Data residu dari kuat geser langsung terhadap material original menunjukkan nilai yang mendekati aktual jika melakukan analisa dengan metode longsor non circular. Selain data diatas, data uji triaxial dan direct shear menunjukkan hasil yang tidak bisa diterapkan dan menunjukkan nilai FK yang lebih besar dari nilai aktual. Sehingga untuk data-data tersebut perlu dilakukan koreksi dan penyesuaian dengan harapan hasil tersebut dapat diaplikasikan kedepannya.

Tabel 4. Sifat Fisik dan Mekanik Material Penyusun Lereng Timbunan.

Material Name	Property	Distribution	Triaxial UU				Direct Shear				SPT (Undrained)			
			Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Waste 1 (Unconsolidated)	Cohesion (Kpa)	Normal	54.71	49.48	34.98	34.98	25.61	26.72	21.82	41.69	40	5	15	15
	Phi (°)	Normal	18.15	4.84	3.43	3.43	15.2	6.59	6.03	10.67	-	-	-	-
	Unit Weight (kN/m3)	Normal	20.00	0.10	0.90	1.70	20.00	0.10	0.09	1.70	-	-	-	-
Waste 2 (Normally Unconsolidated)	Cohesion (Kpa)	Normal	38.15	21.84	25.82	31.58	27.44	27.69	22.73	38.02	60	5	15	15
	Phi (°)	Normal	16.29	3.78	6.16	4.21	16.51	6.8	6.7	7.34	-	-	-	-
	Unit Weight (kN/m3)	Normal	20.00	0.90	1.10	1.50	20.00	0.90	1.10	1.50	-	-	-	-
Waste 3 (Normally - Fully Consolidated)	Cohesion (Kpa)	Normal	60.88	54.91	54.2	68.19	41.68	24.12	16.33	27.7	85	5	15	25
	Phi (°)	Normal	16.98	8.5	9.84	10.39	19.98	1.71	1.89	1.43	-	-	-	-
	Unit Weight (kN/m3)	Normal	20.70	1.10	1.30	1.80	20.00	1.10	1.30	1.80	-	-	-	-
Waste All (Asume Homogen)	Cohesion (Kpa)	Normal	50.41	34.98	43.55	78.66	23.55	12.09	7.22	25.92	-	-	-	-
	Phi (°)	Normal	16.85	3.43	9.71	10.51	12.31	1.25	1.90	1.32	-	-	-	-
	Unit Weight (kN/m3)	Normal	20.30	0.10	1.70	1.70	21.50	0.60	1.00	0.90	-	-	-	-
Soil (DS Peak)	Cohesion (Kpa)	Normal	27.7	-	-	-	-	-	-	-	30	5	10	20
	Phi (°)	Normal	19.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Unit Weight (kN/m3)	Normal	19.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Soil (DS Residu)	Cohesion (Kpa)	Normal	5.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Phi (°)	Normal	7.66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Unit Weight (kN/m3)	Normal	20.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Basement Original (DS Peak)	Cohesion (Kpa)	Normal	121.23	66.86	37.18	149.64	-	-	-	-	-	-	-	-
	Phi (°)	Normal	29.14	2.71	4.48	3.31	-	-	-	-	-	-	-	-
	Unit Weight (kN/m3)	Normal	21.5	0.60	1.00	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-



Gambar 8. Hasil analisa kesesuaian nilai parameter terhadap kestabilan lereng timbunan aktual.

#### C.4. Perhitungan Analisa Balik Longsor

Analisa balik longsor dilakukan untuk mengetahui koreksi dan penyesuaian yang diterapkan agar data hasil uji mekanik material timbunan dapat diaplikasikan untuk analisa lereng timbunan. Hasil koreksi menunjukkan bahwa perlu ditambahkan pengaruh tekanan pori pada setiap lapisan timbunan khususnya untuk data dari hasil uji direct shear sebesar  $R_u = 0.75$  dan triaxial UU sebesar  $R_u = 0.8$ . Dari tabel 5 dan Lampiran 1 diketahui bahwa dengan menambahkan faktor pengaruh tekanan air pori terhadap data material hasil uji laboratorium menunjukkan nilai FK yang mendekati kondisi aktual, sehingga pendekatan ini dapat diaplikasikan.

Tabel 5. Simulasi Analisa Balik Kestabilan Lereng Timbunan dengan Koreksi Tekanan Air Pori ( $R_u$ )

Lokasi	Faktor Keamanan Lereng (FK)			
	DS Layer (C)	DS Layer (NC)	UU Layer (C)	UU Layer (NC)
Failure OPD KA Selatan <sup>1)</sup>	1.030	0.904	1.179	0.945
Failure ACL Girimulya Utara <sup>1)</sup>	1.145	1.095	1.299	0.993
Ex-Failure GRMN Bagian Timur <sup>1)</sup>	0.846	0.803	0.987	0.857
OPD Girimulya Selatan RL+80 <sup>2)</sup>	1.213	1.138	1.202	1.187
WDH Selatan KB (Ex-Void) RL+55 <sup>2)</sup>	1.074	0.935	1.175	1.071

<sup>1)</sup> aktual longsor, <sup>2)</sup> aktual stabil

#### D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa kestabilan lereng yang telah dilakukan, penulis menarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil Uji daya dukung SPT dengan model longsor busur menunjukkan hasil yang sangat baik terhadap penentuan nilai kestabilan material timbunan di area penelitian.
2. Nilai SPT N30 (Lapangan) perlu dilakukan koreksi ke N60, kemudian menggunakan konsep Terzaghi & Peck untuk menentukan nilai kuat geser undrainednya. Berdasarkan analisa balik menunjukkan nilai yang mendekati kondisi aktual yaitu Su Pasir (N60 x 3), Su Mix pasir dan lempung (N60 x 5) dan Su Lempung (N60 x 6.7).

3. Hasil uji laboratorium direct shear dan triaxial tidak bisa langsung digunakan karena terdapat deviasi yang sangat besar dengan kondisi aktual. Nilai properties setiap timbunan perlu menambahkan pengaruh tekanan air pori RU sebesar 0.75 (untuk data direct shear) dan 0.8 (untuk data triaxial uu) pada software limit equilibrium.
4. Data residual material original dapat menunjukkan nilai kestabilan yang mendekati kondisi aktual dengan analisa menggunakan model longsoran non-circular di area disposal.
5. Kondisi repose longsoran memiliki nilai sudut yang mendekati dengan nilai sudut geser dalam residu dari sampel material timbunan yaitu 4 degree. Oleh sebab itu, setiap terjadi retakan perlu.

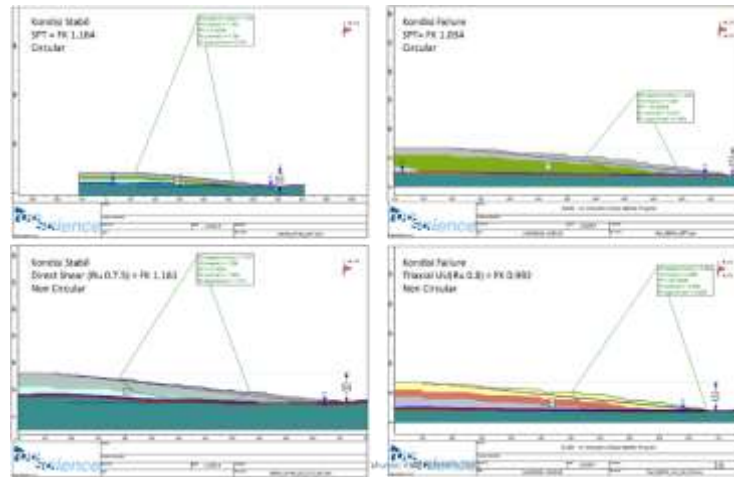
#### UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami sampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada PERHAPI karena telah menyelenggarakan TPT XXIX PERHAPI 2020. Penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada Tim Geoteknik dan Tim Geology Eksplorasi dari Departemen Survey, Geology, Exploration dan Geotechnic yang telah membantu dalam proses pengambilan data dalam penelitian ini. Selebihnya penulis mengucapkan terima kasih kepada manajemen PT. Borneo Indobara yang telah memberikan dukungan penuh dan persetujuan untuk menerbitkan jurnal ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Dwumfour, D., Dixon, J., Mylvaganam, J.(2020): Wase Rock Characteriation and Stability Assesment for Feasibility Level Stuies. Slope Stability 2020 Australian Center for Geomechanic, Perth, 677 – 690.
- Frans, J.S., dan Nurfalaq, M.H., (2019): Studi Geoteknik Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Tambang Batubara, *Indonesian Mining Professionals Journal Volume 1, Nomor 1, Bulan November 2019*, PERHAPI, Jakarta, 12– 21
- Golder Associates. (2017): Geotechnical Investigation for Waste Dump Capacity Optimisation., Internal Report PT. BIB located in Tanah Bumbu, Souldh Borneo, Jakarta- Indonesia.
- Jefferies, Mike., and Been, Ken.. (2016): Soil Liquefaction a Critical State Approach Second Edition, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton – Florida.
- Rustandi, E., Nila, E.S., Sanyoto, P., dan Margono, U., (1995): Peta Geologi Lembar Kotabaru, Kalimantan., Geological Research and Development Centre, Bandung- Indonesia.
- Suyuti, dan Rizal, Muhammad. (2020): Evaluasi Tinggi Embankment Jalan Pada Tanah Lunak Diperkuat Geotextile dan Fondasi Cerucuk, *Teras Jurnal, Vol. 10, No. 2, September 2020*, 224 – 234.
- Terzaghi, K and Peck,R.B .(1967) “Soil Mechanics in Engineering Practice”.John Willey, New York.
- Vidayanti, Desiana. (2013): *Korelasi Nilai N-SPT dengan Parameter Kuat Geser Tanah untuk Wilayah Jakarta dan Sekitarnya. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7) Universitas Sebelas Mater (UNS)*. Surakarta, 24-26 Oktober 2013, G99 – 107.
- Youd T.L., Idriss I.M. (1997) : Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, ISSN 1088-3800. Technical Report NCEER-97-0022. Utah.

## LAMPIRAN



Lampiran 1. Hasil Simulasi Kestabilan Lereng setelah dilakukan Koreksi Tekanan Air Pori ( $R_u$ ).



